

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780006373.8

[51] Int. Cl.

C22C 38/00 (2006.01)

C21D 9/02 (2006.01)

C22C 38/58 (2006.01)

F16F 1/06 (2006.01)

[43] 公开日 2009年3月18日

[11] 公开号 CN 101389781A

[22] 申请日 2007.2.16

[21] 申请号 200780006373.8

[30] 优先权

[32] 2006.2.23 [33] JP [31] 047031/2006

[86] 国际申请 PCT/JP2007/052868 2007.2.16

[87] 国际公布 WO2007/105410 日 2007.9.20

[85] 进入国家阶段日期 2008.8.22

[71] 申请人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府

共同申请人 住友电工钢铁电线株式会社

日本发条株式会社

[72] 发明人 泉田宽 河部望 高村伸荣

村井照幸 高村典利

[74] 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司

代理人 丁业平 张天舒

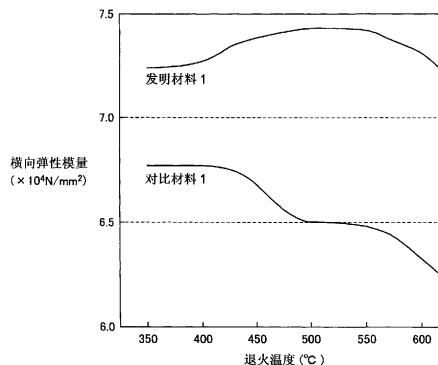
权利要求书 2 页 说明书 21 页 附图 3 页

[54] 发明名称

高强度不锈钢弹簧及其制造方法

[57] 摘要

本发明提供一种高强度不锈钢弹簧，其表现出优良的可加工性，并具有高载荷特性。因此，本发明的高强度不锈钢弹簧的化学组成中含有：0.04 质量% - 0.08 质量% 的 C、0.15 质量% - 0.22 质量% 的 N、0.3 质量% - 2.0 质量% 的 Si、0.5 质量% - 3.0 质量% 的 Mn、16 质量% - 20 质量% 的 Cr、8.0 质量% - 10.5 质量% 的 Ni、0.5 质量% - 3.0 质量% 的 Mo，余量为 Fe 和不可避免的杂质，并且线圈的平均直径以 D 表示，当在不锈钢丝的横截面为完整圆形的情况下，钢丝直径以 d 表示时，或者当在不锈钢丝的横截面为除了完整圆形以外的形状的情况下，线圈外直径减去平均盘卷直径而获得的值以 d' 表示时，所述弹簧的旋绕比 D/d 或 D/d' 为 2 至 6。



1. 一种高强度不锈钢弹簧，其由不锈钢丝制成，

其中，所述不锈钢丝的化学组成中含有：0.04 质量%-0.08 质量%的 C、0.15 质量%-0.22 质量%的 N、0.3 质量%-2.0 质量%的 Si、0.5 质量%-3.0 质量%的 Mn、16 质量%-20 质量%的 Cr、8.0 质量%-10.5 质量%的 Ni、0.5 质量%-3.0 质量%的 Mo，余量为 Fe 和不可避免的杂质，并且

将线圈的平均直径以 D 表示，当在所述不锈钢丝的横截面为完整的圆形的情况下，钢丝的直径以 d 表示时，或者当在所述不锈钢丝的横截面为除了完整圆形以外的形状的情况下，线圈外直径减去平均盘卷直径而获得的值以 d' 表示时，所述弹簧的旋绕比 D/d 或 D/d' 为 2 至 6。

2. 根据权利要求 1 所述的高强度不锈钢弹簧，其中所述不锈钢丝中的 Mo 与 N 的原子百分比值 (Mo/N) 为 0.6 至 1.3。

3. 根据权利要求 1 所述的高强度不锈钢弹簧，其中，在所述钢丝被盘绕之后、并在所述弹簧被退火之前，所述弹簧的横截面的维氏硬度的算术平均值为 400 至 550，而在所述弹簧被退火之后，其横截面的维氏硬度的算术平均值为 450 至 650。

4. 根据权利要求 1 所述的高强度不锈钢弹簧，其被用作模具弹簧或者模具弹簧用钢丝。

5. 一种制造权利要求 1 所述的高强度不锈钢弹簧的方法，该方法包括如下工序：

将不锈钢进行拉丝加工，从而形成不锈钢丝；

将所述不锈钢丝进行盘绕，从而形成弹簧形状；以及

将所述弹簧形状的不锈钢丝在 425℃ 至 600℃ 的温度下退火。

6. 根据权利要求5所述的制造高强度不锈钢弹簧的方法，其中所述的退火温度为475℃至550℃。

7. 根据权利要求5所述的制造高强度不锈钢弹簧的方法，其还包括一步或多步喷丸硬化工序。

8. 根据权利要求7所述的制造高强度不锈钢弹簧的方法，其中在进行所述的拉丝加工之后，依次进行盘绕工序、第一阶段的喷丸硬化工序、退火工序、以及第二阶段的喷丸硬化工序。

9. 根据权利要求5所述的制造高强度不锈钢弹簧的方法，其中进行氮化处理。

高强度不锈钢弹簧及其制造方法

技术领域

本发明涉及不锈钢弹簧，以及制造该不锈钢弹簧的方法，其中所述不锈钢弹簧被用于需要具有高强度和高耐腐蚀性的制品中，例如用于汽车部件、家用电器部件或模具弹簧中。

背景技术

作为在被施加了高载荷的高强度弹簧部件中使用的材料，迄今已有用于冷加工的琴钢丝（piano wire）和 Si-Cr 钢油回火钢丝，以及用于热加工的 Si-Mn 系弹簧用钢丝等。

这些高强度材料均存在耐腐蚀性较低的问题。作为提高弹簧耐腐蚀性的方法，可提出涂装法、耐腐蚀电镀处理等。然而，由于在 Si-Cr 钢和 Si-Mn 钢中存在产生延迟断裂的危险性，因此不能对 Si-Cr 钢和 Si-Mn 钢施加电镀处理。近年来，基于对环境问题的考虑，针对琴钢丝进行的铬酸盐处理（该处理是对琴钢丝最为有效的耐腐蚀性处理）已受到限制。因此，需要将这种处理改变为无需使用六价铬的替代处理方式。实际操作中，仅有涂装法是解决耐腐蚀性的方法。这些表面处理的缺点在于：这些处理需要在材料被制成弹簧形式之后再行进行，这样，该处理便成为间歇处理（batch treatment）方式，从而不可避免地会增加制造成本；并且当作为弹簧的材料在使用期间表面受到损坏时，会以该损坏处为起始点发生腐蚀蔓延。

作为该问题的解决手段，采用使用不锈钢作为弹簧材料的方法。根据该方法，涂装和表面处理可省略；因此，尽管由于采用不锈钢而使材料成本增加，但可将弹簧的整体制造成本控制在较低的水平。然而，具有特别优良的耐腐蚀性的奥氏体不锈钢的强度可能不足。

高强度材料所存在的问题不仅在于其耐腐蚀性。这种材料由于具有高强度，因此还存在加工性低的问题。在设计能够承受高载荷的弹

簧时，需要使其旋绕比比较小，以便使弹簧常数较高。图3为解释常规的旋绕比的示意图。如图3(a)所示，当钢丝的横截面为完整的圆形时，平均盘卷直径 D （其表示由钢丝的一个横截面的中线到另一个横截面中线的距离）和钢丝直径 d 被用来以 D/d 的形式来表示旋绕比。如图3(b)所示，当钢丝横截面不是完整的圆形时，用线圈外直径 D' 减去平均盘卷直径 D 而获得的值 d' 被用来以 D/d' 的形式表示线圈指数。当使弹簧的旋绕比比较小时，弹簧材料需要具有高加工性。因此，弹簧材料的韧性不足，并且会存在发生断裂或咬合的危险性。

作为解决加工性的现有技术，提出这样的方法：将呈钢丝状的钢淬火并回火一次，将钢盘绕，并再次将钢淬火并回火（参见专利文献JP-A-2000-213579(专利文献1)，和JP-A-2003-073737(专利文献2)）。该方法如下所述：在钢丝状的形式下进行淬火和回火处理（该处理的着重点在于韧性）；将钢丝盘绕；并再次进行淬火和回火处理（该处理的着重点在于强度）。该方法可能制造出能够承受高载荷的产品形式的高强度弹簧，但是，该方法尽管解决了韧性问题，可两次热处理却使成本增加。此外，上述的耐腐蚀性不能得到改善。

为了使弹簧的强度提高，近年来使用具有矩形横截面的弹簧或具有椭圆形横截面的弹簧（参见专利文献JP-A-09-133168(专利文献3)，和JP-A-63-034335(专利文献4)）。这是因为：由于这种方法可降低附着高度，因此能够在有限的空间内获得较大能量。但是，对于具有这种横截面的钢丝而言，其横截面内的一部分被局部加工，这样，当对该钢丝进行拉丝加工和弹簧加工时，产生韧性不足的危险性增加。

专利文献1 JP-A-2000-213579

专利文献2 JP-A-2003-073737

专利文献3 JP-A-09-133168

专利文献4 JP-A-63-034335

发明内容

本发明待解决的问题

本发明的目的是提供这样一种高强度不锈钢弹簧，该高强度不锈

钢弹簧在拉丝加工和弹簧加工中表现出良好的加工性，并且具有与 Si-Cr 钢油回火钢丝相当的高载荷特性。本发明的另一目的是提供制造高强度不锈钢弹簧的方法，由于该方法根本不需要针对耐腐蚀性进行的涂装和表面处理，因此使总的制造成本降低。

解决问题的手段

本发明的高强度不锈钢弹簧由不锈钢丝制成，其中所述不锈钢丝的化学成分包括：0.04 质量%-0.08 质量%的 C、0.15 质量%-0.22 质量%的 N、0.3 质量%-2.0 质量%的 Si、0.5 质量%-3.0 质量%的 Mn、16 质量%-20 质量%的 Cr、8.0 质量%-10.5 质量%的 Ni、0.5 质量%-3.0 质量%的 Mo，余量为 Fe 和不可避免的杂质，并且当线圈的平均直径由 D 表示，且钢丝直径由 d 表示（在钢丝的横截面为完整的圆形的情况下），或者线圈外直径减去平均盘卷直径后而获得的值由 d' 表示（在钢丝的横截面不是完整的圆形的情况下）时，所述弹簧的旋绕比 D/d 或 D/d' 为 2 至 6。

本发明的制造高强度不锈钢弹簧的方法为制造上述弹簧的方法，该方法包括：将不锈钢进行拉丝加工，从而形成不锈钢丝；将不锈钢盘绕，从而形成弹簧形；并且将弹簧形的不锈钢丝在 425℃ 至 600℃ 下进行退火。

本发明的效果

根据本发明，加入 N 使得奥氏体不锈钢的纹理性增强，Mo-N 簇合物的形成使得其强度增加，并且使加工和热处理的条件适当，从而可以提供具有优异的加工性、强度和耐腐蚀性的弹簧。该弹簧为具有优异的耐腐蚀性的奥氏体不锈钢弹簧；因此，采用间歇式处理而进行的针对耐腐蚀性的电镀和涂装操作可以省略，从而可降低总的制造成本。

附图简要说明

图 1 为示出在本发明中，对材料进行拉丝加工时的加工应变与该材料在退火前后的抗拉强度之间的关系图。

图 2 为示出在本发明中，回火温度与抗拉强度之间的关系图。

图 3 为解释常规的旋绕比的示意图。

图 4 为示出本发明中退火温度与横向弹性模量之间的关系的图。

本发明的最佳实施方式

在本发明的高强度不锈钢螺旋弹簧中，不锈钢的化学成分的组成中含有：0.04 质量%-0.08 质量%的 C、0.15 质量%-0.22 质量%的 N、0.3 质量%-2.0 质量%的 Si、0.5 质量%-3.0 质量%的 Mn、16 质量%-20 质量%的 Cr、8.0 质量%-10.5 质量%的 Ni、0.5 质量%-3.0 质量%的 Mo，余量为 Fe 和不可避免的杂质，并且该不锈钢弹簧的旋绕比 D/d 或 D/d' 为 2 至 6。以下将对选择构成元素的原因以及限制不锈钢成分的含量范围的原因进行说明。

C 以间隙固溶体的形式熔入晶格结构中，从而产生了向其中引入应变，以强化间隙固溶体的作用。此外，C 具有形成科特雷耳气团以使金属组织中的位错得到固着的作用，从而提高强度。然而，C 容易与钢中的 Cr、Nb、Ti 等结合而形成碳化物。例如，当在晶粒间界存在有 Cr 碳化物时，由于 Cr 在奥氏体中的扩散速度较慢，因此会在晶界附近产生 Cr 耗尽层。这样，韧性和耐腐蚀性便会降低。因此，将 C 的含量百分比设定为 0.04 质量%或更高，以有效地提高强度，并且将其含量百分比设定为 0.08 质量%或更低，以使其造成韧性和耐腐蚀性降低的效果较小。

与 C 一样，N 也是用以强化间隙固溶体的元素，并且也是形成科特雷耳气团的元素。N 与钢中的 Cr 或 Mo 结合以形成簇合物，从而产生提高强度的作用。这种基于 Mo-N 簇合物的强度提高作用是通过回火（低温退火）操作而获得的。本发明人获得了这样的研究结果：强度提高的比例随着回火前由加工而引入的应变的不同而发生改变。图 1 为示出在本发明中，对材料进行拉丝加工时的加工应变与该材料在退火前后的抗拉强度的关系的图。在图 1 中，退火前的抗拉强度值由空心符号表示，而退火之后的抗拉强度值由实心符号表示。当将材料进行盘绕，并随后将其在低温下退火时，可获得除去应变的效果。在本发明中，也可通过回火而获得强度提高的效果。因此，在本说明

书中，将这种退火也称为回火。

如图 1 所示，本发明的不锈钢的实施方案（后文中也可称之为“发明材料”）含有 0.20 质量%的 N，并且其基质为 SUS 304（JIS 编号）；因此，由加工而产生的硬化率几乎与 SUS 304 的硬化率相等。但是，通过加入 N（其为奥氏体稳定元素），即使在加工应变为 2 或更高时，也不会产生应变诱发马氏体。因此，本发明的不锈钢的强度稍微低于 SUS 304 的强度。此时发明材料所显示的韧性值等于或高于 SUS 304 的韧性值。

将发明材料退火后的强度相互进行比较。在这种情况下，应当理解到：在所引入的加工应变的量较大时，回火后的强度增加也较大；并且该强度值与 SUS 631（JIS 编号）的强度值相等，其中 SUS 631 为 Ni 和 Al 的金属间化合物的沉淀强化型不锈钢。该结果是由于产生 Mo-N 簇合物所致。换言之，发明材料比 SUS 304 更易于加工，并且其退火后的强度与 SUS 631 一样高。因此，SUS 304 具有优异的韧性，但其存在强度不足的缺点。SUS 631 具有优异的强度，却存在加工性较低的缺点。发明材料可弥补这两个缺点。

如上所述，加入 N 对可加工性（韧性）和强度的改善产生优异的效果。但是，N 在奥氏体相中的固溶程度受到限制。加入 0.20 质量%或更高的较大量的 N 时，在铸造钢时会产生气孔。通过加入与 N 具有高亲和力的元素（如 Cr 或 Mn）来提高其固溶的限度，可在某种程度上抑制这种现象，但是当加入过多的这样的元素时，在钢被熔融时需要对环境条件（如温度）进行控制。结果，可能使成本增加。这样，为了通过加入 N 有效地使奥氏体相稳定，并且通过形成 Mo-N 簇合物有效地使强度提高，将 N 的含量百分比的值设定为 0.15 质量%或更高，优选为 0.18 质量%或更高。另一方面，为了避免增加熔融和铸造的难度，将 N 的含量百分比的值设定为 0.22 质量%或更低，优选为 0.20 质量%或更低。

Si 会发生固溶，从而产生使层错能降低并使机械特性得到改善的效果。当将钢熔融和精炼时，Si 也是有效的脱氧剂，并且在常规奥氏体不锈钢中，Si 的含量为约 0.6 质量%-0.7 质量%。为了获得由于固

溶体强化而产生的机械特性，优选的是加入 0.8 质量%或更高的 Si。这样，为了获得作为脱氧剂的效果，将 Si 的含量百分比设定为 0.3 质量%或更高，更优选为 0.5 质量%或更高。考虑到韧性的劣化，将其含量百分比设定为 2.0 质量%或更低，优选为 1.2 质量%或更低。

在将钢熔融和精炼时 Mn 被用作脱氧剂，并且 Mn 对奥氏体不锈钢中的 γ 相（奥氏体）的相稳定性也是有效的。这样，Mn 可以作为替代元素以替代较贵的 Ni。如上所述，Mn 具有提高 N 在奥氏体中的固溶限度的效果。但是，Mn 对高温下的抗氧化性会产生不利的作用。因此，将 Mn 的百分含量设定为 0.5 质量%-3.0 质量%。当耐腐蚀性尤其重要时，其百分含量优选为 0.5 质量%-2.0 质量%。为了提高固溶限度，并使 N 的微小气孔数极少，Mn 的添加量优选为 2.0 质量%-3.0 质量%。但是，在这种情况下，耐腐蚀性会有些降低。因此，有利的是，根据用途来对 Mn 的添加量进行调整。

Cr 是奥氏体不锈钢的主要构成元素，具有有效获得耐热特性和抗氧化性的作用。因此，当由发明材料的其它元素成分来计算 Ni 当量和 Cr 当量时，并考虑到 γ 相（奥氏体）的相稳定性，将 Cr 的百分含量设定为 16 质量%或更高，优选为 17 质量%或更高，以获得所需的耐热特性。考虑到韧性的劣化，将其百分含量设定为 20 质量%或更低，优选为 19 质量%或更低。

Ni 可有效地稳定 γ 相（奥氏体）。然而，如果在本发明中将 N 的百分含量设定为 0.2 质量%或更高，则引入大量的 Ni 会导致产生气孔。在这种情况下，加入 Mn（其与 N 具有高的亲和力）可有效地抑制气孔的产生。因此，为了获得奥氏体不锈钢，需要在考虑 Mn 的加入量的条件下加入 Ni。因此，加入 8.0 质量%或更高的 Ni 以稳定 γ 相（奥氏体）。为了抑制气孔的产生并控制成本的增加，将 Ni 的百分含量设定为 10.5 质量%或更低，优选为 10.0 质量%或更低。当 Ni 的含量不足 10.0 质量%时，Ni 使得能够容易地获得 N 的固溶体，特别是在钢的熔融和铸造过程中尤其如此。因此，从成本的角度来看，加入 N 是非常有利的，从而使得昂贵的元素 Ni 的用量尽可能低。

Mo 在 γ 相（奥氏体）中发生置换固溶，从而极大地有助于强度的

提高，并确保具有耐腐蚀性。此外，Mo 与 N 结合而形成簇合物，从而使强度得到较大幅度的提高。因此，将提高强度所需的 Mo 的最低百分含量设定为 0.5 质量%或更高，优选为 1.0 质量%或更高。考虑到可加工性的劣化和材料成本的降低，将其百分含量设定为 3.0 质量%或更低，优选为 2.0 质量%或更低。

当将上述化学成分熔融而制成钢时，钢的金属组织基本上为单相奥氏体。在钢丝表面形成主要由 Cr 氧化物制成的钝化膜。这种涂层非常薄且均匀，并具有致密结构；因此，该涂层对保持钢的耐腐蚀性以及其美观性（金属光泽）具有非常重要作用。这种钢表现出 Si-Cr 钢和 Si-Mn 钢所无法比拟的高耐腐蚀性，其中 Si-Cr 钢和 Si-Mn 钢均为上述的高强度钢，并且均为经回火的奥氏体钢、琴钢丝（珠光体钢）等。

下面将说明对发明材料的结构以及制造该方法进行限制的原因。所述发明材料的特征在于：使用其成分受到限制的上述不锈钢钢丝，并且旋绕比 D/d 或 D/d' 为等于或大于 2 而小于或等于 6，优选为等于或大于 3 而小于或等于 5。这源于这样的事实：由 Mo-N 簇合物产生的强度提高效果取决于所引入的加工应变的量。强度提高效果虽然取决于由拉丝加工所产生的面积减小（率），但是进行拉丝加工之前的钢丝材料的钢丝直径在工业上受到限制。一般使用的是钢丝直径为 5.5 mm 的钢丝；因此，当钢丝直径为（例如）约 2 mm-3 mm、或者当钢丝的矩形横截面的横截面积与钢丝直径为 2 mm-3 mm 的钢丝的横截面积相当时，可允许引入的最大加工应变最多为约 2。但是，本发明人发现，当将这种钢丝进行盘绕时，通过将其旋绕比 D/d 或 D/d' 设置为等于或大于 2 而小于或等于 6 可提高强度，从而可获得高的弹簧常数。这可能是由于钢丝被局部加工，使得与进行均匀加工的拉丝加工的情况相比，能够更有效地引入加工应变。这种加工是在苛刻的加工条件下进行的，而常规的高强度材料在这种加工条件下会发生韧性降低，然而由于发明材料具有上述的高加工性，因此其能够实现这种加工。这种加工也可以有效地提高弹簧常数。当钢丝的横截面为矩形或椭圆形时，也能获得这种效果，而且这种效果倾向于更高。

在发明材料中，将旋绕比 D/d 或 D/d' 设定为 2 或更高，优选为 3 或者更高，以便抑制由于高度变形而引起的破损和脆化。为了通过引入加工应变而使强度提高效果得到增加，将旋绕比 D/d 或 D/d' 设定为 6 或者更低，优选为 5 或者更低。

关于不锈钢丝中所含的 Mo 和 N，Mo 与 N 的原子百分比值 (Mo/N) 优选为大于或等于 0.6 而小于或等于 1.3。有助于提高强度的 Mo-N 簇合物是由一个 Mo 原子对应一个 N 原子而构成的；因此，如果 Mo 和 N 中任何一者的量过高或过低，均不能获得好的效果。因此，为了获得有效提高强度的效果，Mo 与 N 的原子百分比值 (Mo/N) 优选为大于或等于 0.6 而小于或等于 1.3，更优选为大于或等于 0.9 而小于或等于 1.1。

一个优选实施方案是这样一种弹簧，其中该弹簧的旋绕比 D/d 或 D/d' 为等于或大于 2 而小于或等于 6，并且在本发明的钢被盘绕之后、而在进行回火之前，该弹簧的横截面的维氏硬度的算术平均值等于或大于 400 而小于或等于 550。当钢经过拉丝加工、可任选的变形加工（形成矩形横截面或椭圆形横截面），并且完成盘绕时，在横截面的平均硬度（其可被看作是引入到全部材料中的加工应变的平均程度）较高的情况下，通过低温退火而实现的强度提高的效果较高。因此，在将钢盘绕之后、而在将弹簧退火之前，横截面的维氏硬度的算术平均值作为有效提高强度的值，优选为 400 或更高，更优选为 450 或更高。为了抑制加工性的劣化，该算术平均值优选为 550 或更低，更优选为 500 或更低。当弹簧材料在 425°C - 600°C 的低温下退火时，横截面的维氏硬度的算术平均值变为等于或大于 450 而小于或等于 650，优选为等于或大于 550 而小于或等于 650。

本发明的用于制造高强度不锈钢螺旋弹簧（即上述的弹簧）的方法的特征在于包括如下步骤：将不锈钢进行拉丝加工，从而形成不锈钢丝；将不锈钢丝盘绕，从而形成弹簧形；以及在 425°C - 600°C 的温度下将弹簧形的不锈钢丝退火。强度得到提高的机理在于形成 Mo-N 簇合物。Mo-N 簇合物通过回火处理而形成。

图 2 为示出发明材料的回火温度与其抗拉强度之间的关系（将

发明材料与 SUS 304 和 SUS 631J1 (JIS 编号) 的情况进行对比) 的图。这些材料的钢丝直径均为 0.55 mm, 并且回火温度的保持时间均为 30 分钟。如图 2 中所示, 对于由空心圆圈所表示的发明材料来说, 形成 Mo-N 簇合物以使强度提高的温度被设定为 425°C 或更高, 并且使强度不会由于退火而降低的退火温度被设定为 600°C 或更低。当退火温度为 475°C-550°C 时, 强度得到进一步提高, 从而获得更高的弹簧载荷特性。

优选的是, 在该制造方法中进行一次或多次喷丸硬化处理, 因为这样可以使强度显著提高。通过以下方法会使强度得到特别有效的提高, 所述方法为: 在回火处理之前进行喷丸硬化, 从而预先向待施加最大应力的部位施加通过喷丸硬化而产生的加工应变, 随后进行回火处理。在常规的不锈钢上不会产生这种由喷丸硬化得到的效果, 而只有在发明材料上才能够明显地产生这种效果。从分类上来讲, 本文所描述的喷丸硬化步骤不仅包括实际的喷丸硬化步骤, 还包括消除应变的退火步骤。

优选的是进行多步喷丸硬化处理, 这是因为这样做能够改善在高应力下使用的弹簧的疲劳特性。具体而言, 可通过在钢的拉丝加工之后进行如下步骤, 而使得弹簧同时具有高负载特性和高疲劳特性, 这些步骤为: 盘绕步骤、第一喷丸硬化步骤、低温退火步骤、第二喷丸硬化步骤和随后的喷丸硬化步骤。从分类上来讲, 第二喷丸硬化步骤包括消除应变的退火。当在第二喷丸硬化步骤之后进行第三喷丸硬化步骤时, 由于压缩残余应力被施加到弹簧表面, 并且使弹簧表面变得平整且光滑, 因此由回火产生的强度提高效果可更为有效地与疲劳特性的改善相结合。

当对本发明的高强度不锈钢弹簧进行氮化处理时, 可极大地改善其疲劳极限。即使在高温下进行长时间的氮化处理, 其硬度也不会降低; 因此, 氮化处理对本发明的高强度不锈钢弹簧的疲劳极限改善的作用程度大于对常规弹簧的作用程度。

(实施例 1)

将发明材料熔融、铸造、锻制、并热轧, 以制成钢丝材料 (钢丝

直径：5.5 mm），并随后将钢丝材料进行固溶处理和拉丝处理，从而制成钢丝直径均为 3.0 mm 的不锈钢丝（发明材料 1 至 5）。在表 1 中，示出了各不锈钢丝的化学组成（质量%）。接着，制造具有表 2 中所示的弹簧因子的不锈钢弹簧。其旋绕比 D/d 被设定为 2.33。

表 1

样品	Fe	C	N	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Mo/N 的原子百分比值	旋绕比 (D/d)
发明材料 1	余量	0.07	0.20	0.7	1.4	18.4	8.5	1.1	0.80	2.33
发明材料 2	余量	0.07	0.20	0.7	1.4	18.3	8.5	1.4	1.02	2.33
发明材料 3	余量	0.07	0.15	0.7	1.4	18.4	8.5	3.0	2.92	2.33
发明材料 4	余量	0.07	0.22	0.7	1.4	18.4	8.5	0.5	0.33	2.33
发明材料 5	余量	0.07	0.22	0.7	1.4	18.4	8.5	1.6	1.06	2.33
对比材料 1	余量	0.07	0.02	0.7	1.4	18.2	8.5	0.02	0.15	2.33
对比材料 2	余量	0.04	0.02	0.6	1.4	17.7	11.8	2.1	15.3	2.33
对比材料 3	余量	0.08	0.02	0.2	0.8	16.5	8.0	0.02	0.15	2.33

表 2

钢丝直径 (d)	3.0 mm
平均盘卷直径 (D)	7.0 mm
旋绕比 (D/d)	2.33
有效匝数	6
自由高度	30 mm
匝端部	经磨削处理

随后，将这些弹簧进行低温退火。与市售可得的产品所用的条件类似，弹簧的退火条件如下：温度为 500℃，时间为 20 分钟。此时的弹簧常数如表 3 所示。表 3 示出了通过使用沃尔应力校正系数，由弹簧常数估算出的横向弹性模量。弹簧常数均为根据相对于一定的位移量（压入量：5mm 和 10mm）的载荷变化而测得值的平均值（N=3）。

表 3

样品	弹簧常数	横向弹性模量
发明材料 1	3.65×10^2 N/mm	7.42×10^4 N/mm ²
发明材料 2	3.69×10^2 N/mm	7.51×10^4 N/mm ²
发明材料 3	3.61×10^2 N/mm	7.33×10^4 N/mm ²
发明材料 4	3.56×10^2 N/mm	7.23×10^4 N/mm ²
发明材料 5	3.74×10^2 N/mm	7.60×10^4 N/mm ²
对比材料 1	3.34×10^2 N/mm	6.78×10^4 N/mm ²
对比材料 2	3.21×10^2 N/mm	6.53×10^4 N/mm ²
对比材料 3	3.44×10^2 N/mm	7.00×10^4 N/mm ²
SiCr 钢	3.71×10^2 N/mm	7.55×10^4 N/mm ²

(比较例 1)

按照与实施例 1 相同的方法形成不锈钢丝（对比材料 1-3）。在表 1 中，示出了各不锈钢丝的化学组成（质量%）。接着，制造具有表 2 中所示弹簧因子的不锈钢弹簧。此外，用 Si-Cr 钢油回火钢丝来制造具有相同弹簧因子的弹簧。旋绕比 D/d 被设定为 2.33。随后，将对对比材料 1（SUS 304）在 400℃ 下进行低温退火 20 分钟，将对对比材料 2（SUS 316(JIS 编号)）在 400℃ 下进行低温退火 20 分钟，将对对比材料 3（SUS 631J1）在 475℃ 下进行低温退火 60 分钟，并且这些条件基本上与市售可得的产品所设定的条件相同。按照与实施例 1 相同的方式，将弹簧常数和横向弹性模量示于表 3 中。

从表 3 可看出，发明材料 1 至 5 所表现出的载荷特性基本上与使用 Si-Cr 钢油回火钢丝的弹簧的载荷特性相当。此外，Mo 与 N 的原子百分比值为 0.6 至 1.3 的发明材料 1、发明材料 2 和发明材料 5 均表现出较高的弹簧常数和高的横向弹性模量。

(实施例 2)

按照与实施例 1 相同的方法尝试制造发明材料 1-a、1-b 和 1-c，不同之处在于，按照表 4 中所示的方式改变实施例 1 中的发明材料 1 的钢丝的平均盘卷直径和旋绕比。接着，将所得弹簧进行低温退火。

退火条件如下：温度为 500℃，时间为 20 分钟。所得样品的弹簧常数以及由弹簧常数估算得到的横向弹性模量示于表 5 中。弹簧常数均为根据相对于一定的位移量（压入量：5mm 和 10mm）的载荷变化而测得值的平均值（N=3）。

表 4

样品	平均盘卷直径	旋绕比
发明材料 1-a	7.0mm	2.33
发明材料 1-b	13.5mm	4.50
发明材料 1-c	18.0mm	6.00
对比材料 1-a	7.0mm	2.33
对比材料 1-b	13.5mm	4.50
对比材料 1-c	18.0mm	6.00
对比材料 1-j	24.0mm	8.00
对比材料 1-k	24.0mm	8.00

表 5

样品	弹簧常数	横向弹性模量(估算)
发明材料 1-a	$3.65 \times 10^2 \text{N/mm}$	$7.42 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
发明材料 1-b	$5.07 \times 10^1 \text{N/mm}$	$7.39 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
发明材料 1-c	$2.13 \times 10^1 \text{N/mm}$	$7.36 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
对比材料 1-a	$3.34 \times 10^2 \text{N/mm}$	$6.78 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
对比材料 1-b	$4.65 \times 10^1 \text{N/mm}$	$6.78 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
对比材料 1-c	$1.96 \times 10^1 \text{N/mm}$	$6.78 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
对比材料 1-j	$8.79 \times 10^0 \text{N/mm}$	$7.20 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
对比材料 1-k	$8.29 \times 10^0 \text{N/mm}$	$6.79 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
SiCr 钢	$3.71 \times 10^2 \text{N/mm}$	$7.55 \times 10^4 \text{N/mm}^2$

(比较例 2)

按照与实施例 1 相同的方法尝试制备对比材料 1-a、1-b 和 1-c 和 1-k，不同之处在于按照表 4 中所示的方式改变比较例 1 中的对比

材料 1 (SUS 304) 的钢丝的平均盘卷直径和旋绕比。此外, 尝试制造对比材料 1-j, 其中如表 4 所示, 将实施例 1 中的发明材料 1 的钢丝的平均盘卷直径和旋绕比分别设定为 24.0mm 和 8.00 而制得对比材料 1-j。另外, 作为对比材料, 尝试制造这样一种弹簧, 其中 Si-Cr 钢油回火钢丝的平均盘卷直径和旋绕比分别被设定为 7.00 mm 和 2.33。

接着, 将所得弹簧进行低温退火。对比材料 1-a、1-b、1-c 和 1-k (SUS 304) 的退火条件如下: 温度为 400°C 并且时间为 20 分钟; 对比材料 1-j 的退火条件如下: 温度为 500°C, 时间为 20 分钟。所得样品的弹簧常数以及由弹簧常数估算得到的横向弹性模量示于表 5 中。弹簧常数均为根据相对于一定的位移量 (压入量: 5mm 和 10mm) 的载荷变化而测得的值的平均值 (N=3)。

由表 5 可以清楚地看出, 弹簧常数随着弹簧因子的改变而发生很大的变动; 但是, 通过对估算得到的横向弹性模量进行比较可以证实, 发明材料 1-a、1-b 和 1-c (它们具有本发明的化学组成, Mo/N 比值为 0.6 至 1.3, 旋绕比为 2 至 6) 所产生的弹簧载荷特性均接近于 Si-Cr 钢的弹簧载荷特性。另一方面, 可以证实, 对比材料 1-j (其旋绕比不在本发明的旋绕比 2 至 6 的范围内) 的横向弹性模量较低。可以证实, 使用 SUS 304 作为原料的对比材料 1-a、1-b 和 1-c, 无论其旋绕比如何, 均表现出较低的横向弹性模量。

(实施例 3)

利用实施例 1 中的发明材料 1 的材料形成由直径为 2.0mm 的钢丝制成的弹簧, 以及由直径为 3.0mm 的钢丝制成的弹簧, 以改变在该材料进行弹簧加工后的硬度。利用相同的材料来形成由横截面为 2.0 mm × 1.57 mm 的矩形的钢丝制成的弹簧、以及由横截面为 3.0 mm × 2.36mm 的矩形的钢丝制成的弹簧。它们的弹簧因子示于表 6 和表 7 中。

表 6

钢丝直径 (d)	直径 3.0mm 矩形 3.0 mm × 2.36 mm
平均盘卷直径 (D)	7.0mm
旋绕比 (D/d)	2.33
有效匝数	6
自由高度	30mm
匝端部	经磨削处理

表 7

钢丝直径 (d)	直径 3.0mm 矩形 2.0 × 1.57mm
平均盘卷直径 (D)	4.7 mm
旋绕比 (D/d)	2.35
有效匝数	6
自由高度	20 mm
匝端部	经磨削处理

将所得弹簧进行低温退火。在这些情况中所进行的退火的条件如下：温度为 500℃，时间为 20 分钟。对于该情况中的各个样品，表 8 中示出了在盘绕后（并在回火前）、以及回火后，各样品的横截面的维氏硬度的平均值；并且对于回火后的各弹簧，在表 8 中示出了由其弹簧常数估算得到的横向弹性模量。在从各线圈的表面附近至中心的区域中，在内侧、外侧、上部和下部这 4 个方向测量横截面的维氏硬度。在表面附近，在深度为 50 μm 和 100 μm 这两个点处进行测量，另外在从 500 μm 的深度至中心的区域内，以 500 μm 的间隔进行测量。在各个方向上，将取点数 (n) 设定为 3。测量表面附近的弹簧常数的方法、以及计算横向弹性模量的方法与实施例 2 中的方法相同。

表 8

样品	钢的类型	钢丝尺寸	横截面硬度		横向弹性模量
			退火前	退火后	
发明材料 1-a	发明材料 1	直径 3.0mm	393	442	$7.42 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
发明材料 1-d	发明材料 1	矩形 3.0×2.36mm	457	581	$7.57 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
发明材料 1-e	发明材料 1	直径 2.0mm	421	503	$7.53 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
发明材料 1-f	发明材料 1	矩形 2.0×1.57mm	531	641	$7.59 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
对比材料 1-a	对比材料 1	直径 3.0mm	365	407	$6.78 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
对比材料 1-d	对比材料 1	矩形 3.0×2.36mm	432	466	$6.83 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
对比材料 1-e	对比材料 1	直径 2.0mm	443	478	$6.91 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
对比材料 1-f	对比材料 1	矩形 2.0×1.57mm	514	553	$6.89 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
SiCr 钢	SWOSC-V	直径 3.0mm	586*	572	$7.55 \times 10^4 \text{N/mm}^2$

*关于 SiCr 钢，示出了经过淬火和回火之后进行盘绕的钢的硬度。此外，还示出了经过应变消除和退火（在 420℃ 下进行 20 分钟）后的硬度。

（比较例 3）

按照与实施例 3 相同的方法，利用比较例 1 中的对比材料 1 的材料（SUS 304）尝试制造弹簧，并且将该弹簧在 400℃ 下低温退火 20 分钟。对于各个弹簧，表 8 中示出了其在盘绕后（在回火前）、以及回火后的横截面的维氏硬度；对于回火后的各弹簧，在表 8 中示出了由其弹簧常数估算得到的横向弹性模量。按照与实施例 3 相同的方法进行测量和估算。

从表 8 中可明显地看出，在发明材料和对比材料中，经过变形加工的材料硬度以及经过较高程度的拉丝加工的材料硬度在退火前均得到增加。但是，这些值均低于 Si-Cr 钢油回火钢丝的硬度，这表明由于这些材料为不锈钢丝，因此其具有高的可加工性。在回火对载荷特性产生的效果方面，发明材料和对比材料是不同的，发明材料均表现出与使用 Si-Cr 钢油回火钢丝的弹簧的横向弹性模量相当的横向弹性模量，而对比材料却没有表现出与使用 Si-Cr 钢油回火钢丝的弹簧的横向弹性模量相当的横向弹性模量。这表明回火使发明材料的强度得到极大地提高。也理解到，退火前硬度越高，发明材料的硬度提高的越大。对于发明材料 1-d、1-e 和 1-f，其横截面的维氏硬度的算术平均值在退火前均为 400 至 550。由于低温退火的结果，其特

性提高到与 Si-Cr 钢油回火钢丝的特性相当的水平。通过这一事实，证实了发明材料具有与常规不锈钢丝（SUS 304）相当的高加工性，并且还具有与 Si-Cr 钢油回火钢丝相当的高载荷特性。如表 8 所示，对于各发明材料，其横截面的维氏硬度的算术平均值在退火前均为 400 至 550，并且通过在 425°C-600°C 的温度下进行退火，其横截面的维氏硬度变成 450-650。

（实施例 4）

利用实施例 1 中的发明材料，根据表 2 中所示的弹簧因子，尝试制造弹簧，将该弹簧在以 25°C 的间隔改变的不同温度（温度范围为 350°C 至 625°C）下进行低温退火 20 分钟。对于所得弹簧，按照相同方法测量其弹簧常数，然后计算其横向弹性模量（ 10^4 N/mm^2 ）。结果示于表 9 中。

表 9

退火 温度	350°C	375°C	400°C	425°C	450°C	475°C	500°C	525°C	550°C	575°C	600°C	625°C
发明 材料 1	7.23	7.24	7.26	7.33	7.37	7.40	7.42	7.42	7.41	7.35	7.31	7.20
对比 材料 1	6.77	6.77	6.78	6.73	6.73	6.53	6.51	6.50	6.48	6.43	6.41	6.22

($\times 10^4 \text{ N/mm}^2$)

（比较例 4）

按照与实施例 4 相同的方法尝试制造弹簧，不同之处在于，使这些弹簧的化学组成与表 1 中所示的对比材料 1（SUS 304）的化学组成相同。按照相同方法测量其弹簧常数，随后计算其横向弹性模量。结果示于表 9 中。图 4 示出了发明材料的退火温度与其横向弹性模量之间的关系，并将其与对比材料 1 进行比较。

通过这些结果可以理解到，横向弹性模量也按照与图 2 中所示的抗拉强度相同的方式变化。可以证实，为了使发明材料获得较高的

弹簧载荷特性，需要将退火温度设定为等于或大于 425℃ 而小于或等于 600℃，并且优选将该温度设定为等于或大于 475℃ 而小于或等于 550℃。

(实施例 5)

根据表 2 中所示的弹簧因子，利用表 1 中的发明材料尝试制造弹簧。将这些弹簧在 500℃ 下退火 20 分钟，并在表 10 和 11 中所示条件下进行一次或两次喷丸硬化处理。表 10 示出了第一喷丸硬化处理所用的条件。表 11 示出了第二喷丸硬化处理所用的条件。在进行一次喷丸硬化的情况中，在喷丸硬化之后进行低温退火。在总共进行两次喷丸硬化的情况中，依次进行下列步骤：将发明材料 1 进行拉丝加工，盘绕，第一喷丸硬化，在 500℃ 下低温退火 20 分钟，第二喷丸硬化，以及在 230℃ 下进行热处理 10 分钟以消除应变。对于所得样品，测量其弹簧常数，并计算其横向弹性模量。结果示于表 12 中。

表 10

弧高 (mm)	0.40N
覆盖率 (%)	>100
丸粒形状	钢球
丸粒尺寸 (mm)	0.3
时间 (分钟)	30

表 11

弧高 (mm)	0.15N
表面覆盖率 (%)	>100
丸粒形状	钢球
丸粒尺寸 (mm)	0.1
时间 (分钟)	30

表 12

样品	喷丸硬化	横向弹性模量
发明材料 1-a	未进行	$7.42 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
发明材料 1-g	进行（只有一步）	$7.48 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
发明材料 1-h	进行（两步）	$7.48 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
对比材料 1-a	未进行	$6.78 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
对比材料 1-g	进行（只有一步）	$6.78 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
对比材料 1-h	进行（两步）	$6.78 \times 10^4 \text{N/mm}^2$

（比较例 5）

按照与实施例 5 相同的方法尝试制造弹簧，不同之处在于使用了表 1 中的对比材料 1。将弹簧退火，并进行喷丸硬化。其弹簧常数和横向弹性模量示于表 12 中。

从表 12 中的结果可以明显看出，当对发明材料进行一步喷丸硬化时，会使弹簧载荷特性更好。另一方面，对于对比材料来说，未发现一步喷丸硬化使弹簧载荷特性明显提高。该结果可能是由以下事实所产生：通过第一步喷丸硬化将加工应变引入到弹簧表面中。此外，虽然进行了第二步喷丸硬化，但是这次喷丸硬化对弹簧载荷特性并没有改善作用；然而，通过在回火后进行喷丸硬化，使弹簧的表面更加平坦且光滑。

此外，对第二步喷丸硬化对疲劳极限的影响进行检测。表 13 示出了各样品的疲劳极限，这些疲劳极限是采用弹簧疲劳测试仪得到的。将重复操作的次数设定为 10,000,000。表 13 中示出了各样品未发生断裂或损坏时的应力条件（ $n=8$ ）。在该试验中，将平均应力设定为 600MPa。

表 13

样品	喷丸硬化	疲劳极限 (应力幅度)
发明材料 1-a	未进行	250MPa

发明材料 1-g	进行（只有一步）	390 MPa
发明材料 1-h	进行（两步）	460 MPa
对比材料 1-a	未进行	160 MPa
对比材料 1-g	进行（只有一步）	270 MPa
对比材料 1-h	进行（两步）	310 MPa

从表 13 中的疲劳极限的结果可以明显看出，当对发明材料进行喷丸硬化时，发明材料的疲劳极限改善效果高于对比材料的疲劳极限改善效果。这看起来是由于通过喷丸硬化而引入到弹簧表面中的加工应变非常有助于强度的提高。当对发明材料进行两次喷丸时，发明材料可获得进一步的疲劳极限改善效果。这看起来是由于这样的事实：通过两步喷丸硬化，使不锈钢弹簧的表面（该表面原本容易受到钢丝表面粗糙度的影响）变得平坦且光滑，所以通过第一步喷丸硬化所得到的强度提高对疲劳极限的影响被大大削减。

（实施例 6）

利用发明材料 1 和对比材料 1 尝试性地制造弹簧。将这些弹簧分别在适当的温度下进行低温退火。这些弹簧的弹簧因子为表 2 中所示的那些。然后，在表 9 中所示的条件下对弹簧进行喷丸硬化处理，随后进行氮化处理。对于按照该尝试性方法制造出的弹簧，进行与实施例 5 相同的疲劳测试。结果示于表 14 中。

表 14

样品	喷丸硬化	氮化处理 (470°C 下进行 4 小时)	疲劳极限 (应力幅度)
发明材料 1-g	进行（只有一步）	未进行	390 MPa
发明材料 1-i	进行（只有一步）	进行	490 MPa
对比材料 1-g	进行（只有一步）	未进行	270 MPa
对比材料 1-i	进行（只有一步）	进行	300MPa

从表 14 中的结果可明显看出，通过进行氮化处理使发明材料的

疲劳极限显著提高。另一方面，在对比材料中，氮化处理对疲劳极限提高的作用较小。这是因为通过高温和长时间的氮化处理不会使发明材料的硬度下降，而对比材料被退火，使得其硬度降低。

(实施例 7)

对于表 1 中的发明材料 1，采用根据 JIS Z 2371 中所规定的盐水喷雾实验的方法来评价其耐腐蚀性。表 15 示出了盐水喷雾实验所用的条件，以及评价方法。表 16 示出了随时间的推移，生成有铁锈的区域的面积比的变化。对于发明材料 1 的样品，在没有液体残留的状态下，在中心附近，根据长度为 100mm 的钢丝表面的外观，用肉眼来获得生成铁锈的面积比。生成铁锈的面积比是多个样品的平均值，其中样品数为 3。

表 15

样品尺寸	钢丝直径：3.3mm，长度：200mm
样品数量	3
盐溶液	盐浓度：5%
试验温度	35℃
评价方法	测量表面上的生成铁锈的面积比

表 16

样品	随时间的推移而发生的变化 (生成铁锈的面积比%)				
	第 1 天	第 10 天	第 20 天	第 40 天	第 100 天
发明材料 1	0	0	0	0.3	0.3
对比材料 1	0	0	0	0.5	0.5
Si-Cr 钢	87	100	100	100	100
琴钢丝	79	100	100	100	100
经铬酸盐处理的琴钢丝	0	0.7	2.3	8.5	24

(比较例 6)

按照与实施例 6 相同的方式，对如下这 5 个样品的耐腐蚀性进行评价，这 5 个样品为：除了表 1 中的对比材料 1 (SUS 304) 以外，作为对比物还有发明材料 1、Si-Cr 钢油回火钢丝、B 型琴钢丝 (SUP-B)、经铬酸盐处理的 B 型钢琴线。表 16 示出了在盐水喷雾试验中生成铁锈的面积比的变化。

由表 16 明显看出，发明材料 1 的耐腐蚀性远远高于 Si-Cr 钢或 B 型琴钢丝（它们为用于弹簧的常规高强度材料）的耐腐蚀性，并且也高于经耐腐蚀处理（铬酸盐处理）的琴钢丝的耐腐蚀性。这可能是由对耐腐蚀有效的元素（如 N 和 Mo）所产生的效果；但是，考虑到在发明材料 1 和比较材料 1 之间并未产生较大的差别，则这种效果可能是由于金属组织是奥氏体单相所致的。换言之，可以这样认为：具有本发明组成成分的所有金属材料均会表现出如上所述的相同耐腐蚀性。

本文所披露的例子在所有情况下都应理解为是示例性的和非限定性的。本发明的范围不是由上面的描述限定，而是由权利要求进行限定，并且其旨在包括与权利要求等同的含义，以及在权利要求所限定范围内的所有变化形式。

工业适用性

本发明的高强度不锈钢弹簧适合用作汽车部件和家用电器部件的弹簧材料，在这些部件中需要同时具有强度和耐腐蚀性。该弹簧由通过回火而得到的簇合物强化型合金制成，并且与沉淀强化合金等相比，这种合金在被加工时能得到更好的利用率。此外，耐腐蚀性表面处理可以省略，因此，可使成本的增加变小，工业价值较高。从这些角度来看，本发明是有利的。因此，本发明可被有效地用作模具弹簧或者模具弹簧用的钢丝。

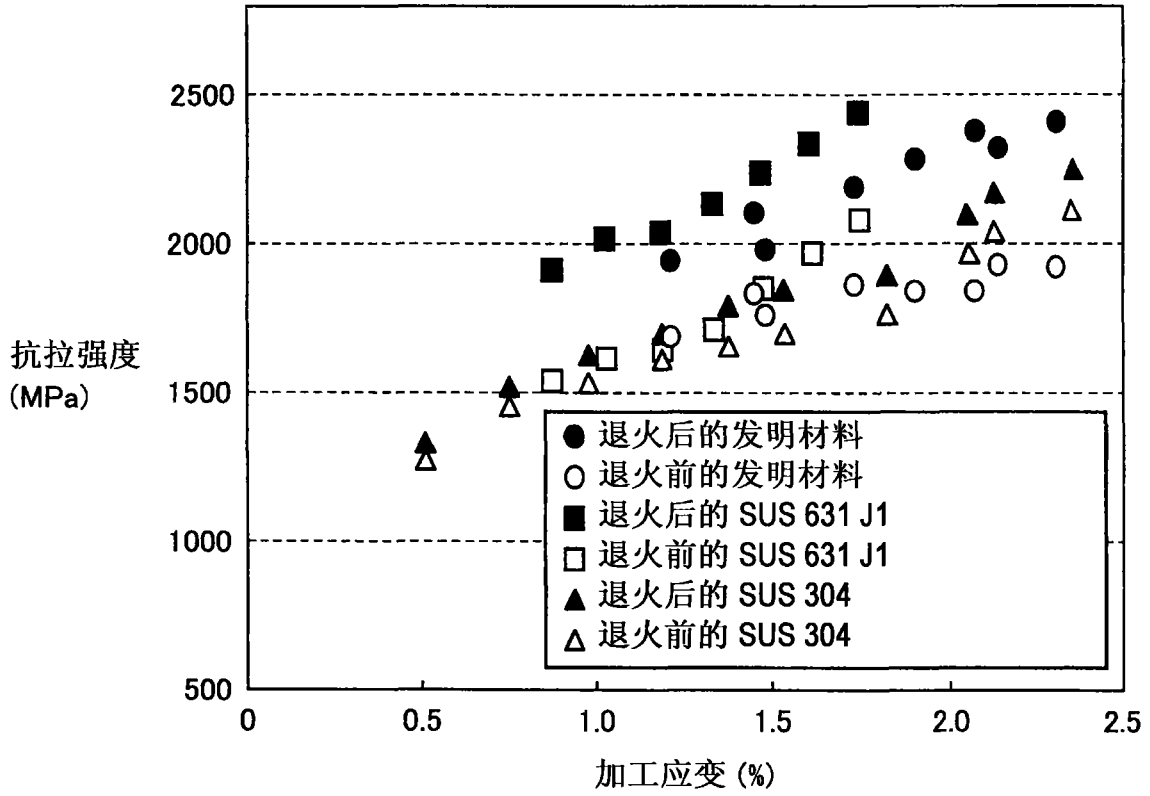


图 1

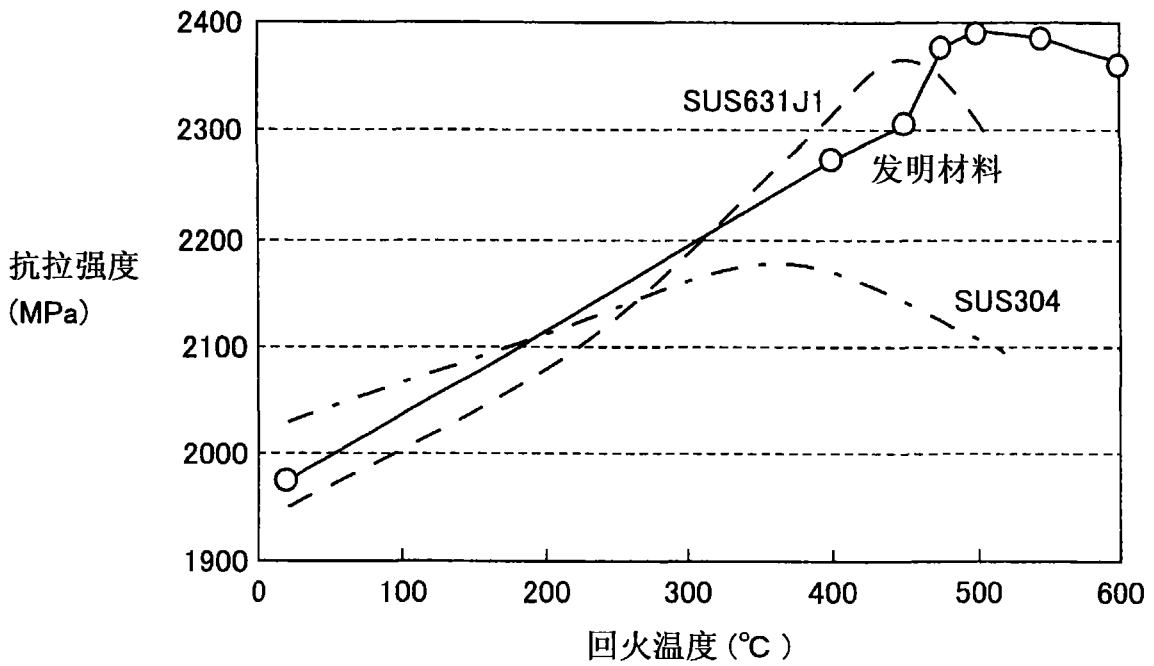


图 2

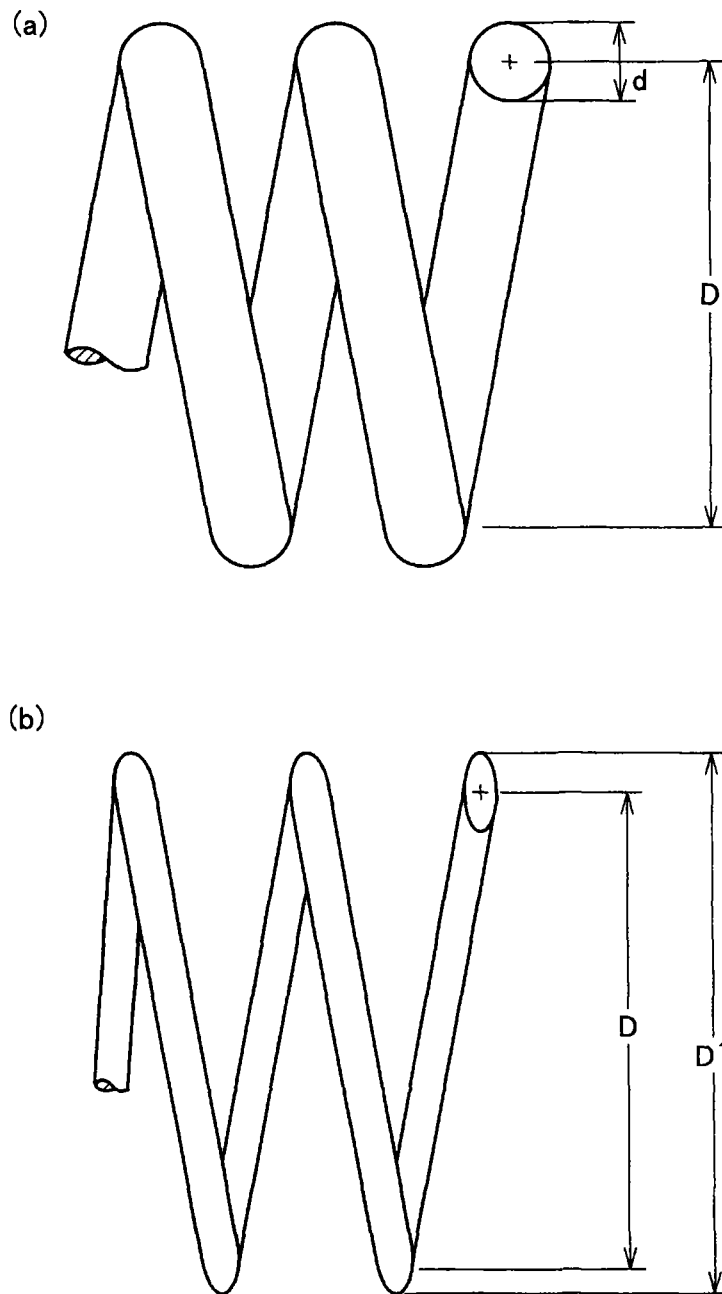


图 3

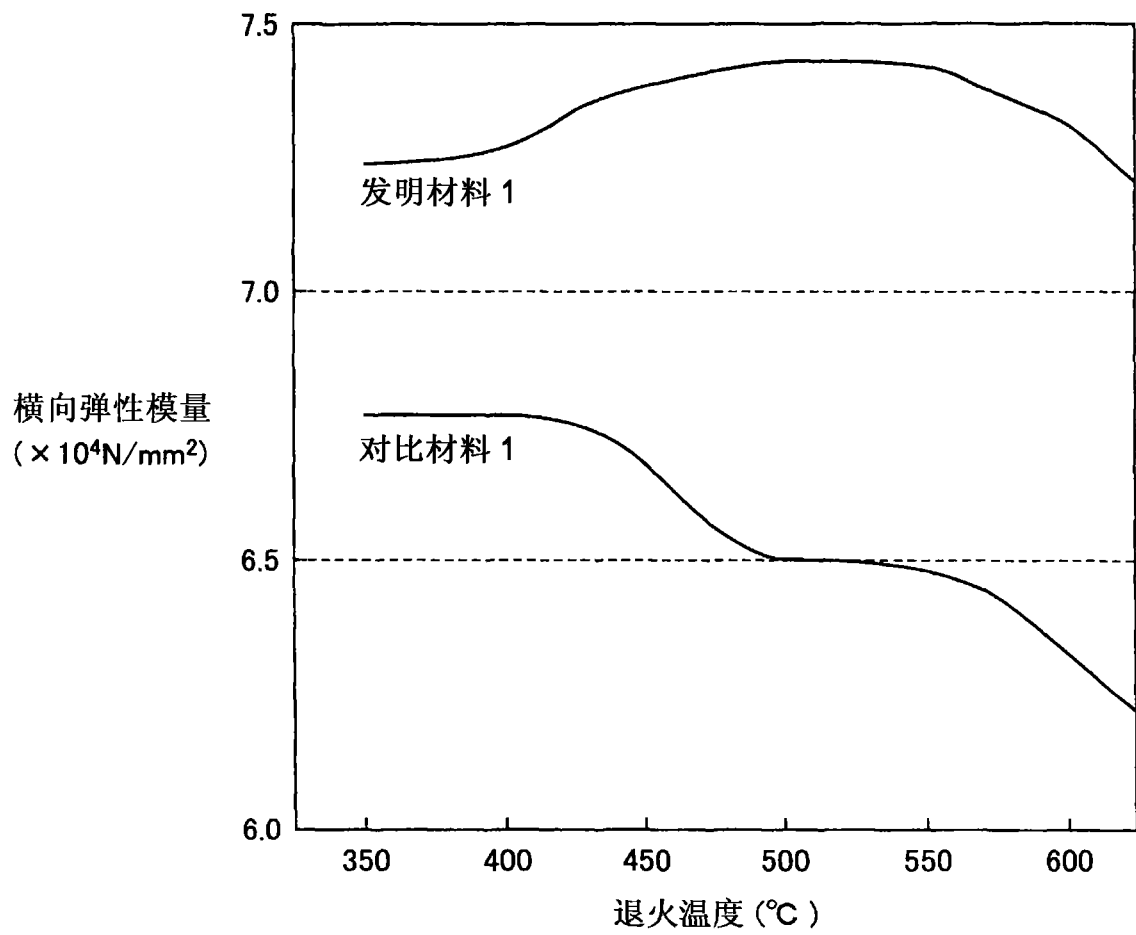


图 4